

电缆隧道侧穿已有桥梁及房屋的影响分析

吴漩灏¹, 金 潇^{2*}, 钟润辉¹

¹华东电力设计院有限公司, 上海

²国网(嘉兴)综合能源服务有限公司, 浙江 嘉兴

Email: *173147386@qq.com

收稿日期: 2021年6月1日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘 要

基于某城区电缆隧道工程, 采用有限元模型模拟了隧道开挖施工的全过程, 对施工过程中周边已有建筑物及电缆隧道本身的位移变形趋势均进行了计算分析。结果表明, 电缆隧道侧穿已有建筑物时, 已有结构主要发生向下的沉降变形和靠近隧道的水平位移, 针对变形趋势建议采用相应地面注浆加固以及增加同步注浆和二次注浆量的措施来保证工程的安全推进。

关键词

电缆隧道, 复杂地层, 侧面穿越, 沉降变形

Influence Analysis of Cable Tunnel Passing through Existing Bridges and Buildings

Xuanhao Wu¹, Xiao Jin^{2*}, Runhui Zhong¹

¹East China Electric Power Design Institute, Shanghai

²State Grid (Jiaxing) Comprehensive Energy Service CO., Ltd., Jiaxing Zhejiang

Email: *173147386@qq.com

Received: Jun. 1st, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

Based on the cable tunnel project in a city, the whole process of tunnel excavation is simulated by using finite element model. The displacement and deformation trend of existing buildings and cable tunnels around the construction process are calculated and analyzed. The results show that when the cable tunnel side passes through the existing buildings, the existing structure mainly undergoes downward settlement deformation and horizontal displacement towards the tunnel. Ac-

*通讯作者。

ording to the deformation trend, it is suggested to adopt corresponding ground grouting reinforcement and increase synchronous grouting and secondary grouting to ensure the safety of the project.

Keywords

Cable Tunnel, Complex Strata, Side Passing, Settlement Deformation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

近年来中国城市化发展正在快步进行,而随着城市的快速发展,已有的电网系统容量将无法满足发展的需要,需要结合城市规划对原电网系统进行扩容改造或者新建。根据目前的城市发展要求,越来越多的电网线路工程需要结合综合管廊进行入地敷设,以节省地面宝贵的城市土地资源。在城区建设暗挖电缆隧道多采用盾构法或者顶管法[1] [2],而盾构法隧道施工速度快,能适应各类复杂环境,并且对周围建构筑物影响小,加之施工方便快捷,因此在城市电缆隧道中得到了越来越多的应用[3] [4]。

而在城区建设电缆隧道,势必需要穿越各类已有建构筑物,如若设计方案不合理或施工参数控制不当,将会造成较大的土层位移而引起已有建构筑物的开裂甚至坍塌[5] [6] [7],近年来由于地下工程施工造成的工程事故不在少数。因此如何在电缆隧道施工时尽量减小对周边建构筑物的影响一直是工程界普遍关心的问题[8] [9] [10] [11]。

目前在电缆入地方案中运用盾构隧道技术的工程实例并不多见,本文基于某城区电缆盾构隧道工程,对其中关键节点进行了沉降变形分析,并针对变形趋势给出了相应的加固措施[12],对未来工程有一定参考价值。

2. 工程概况

本工程位于中心城区,沿线路路径电缆敷设在城市地下电缆隧道内。隧道沿线需穿越已有地铁线路、高架桥、河道、沿线房屋等各类已有建构筑物。结构形式采用盾构法隧道,隧道断面内径 5.5 m, 外径 6.2 m, 壁厚 350 mm, 错缝拼装, 管片宽度 1.2 m, 电缆隧道断面如图 1 所示。

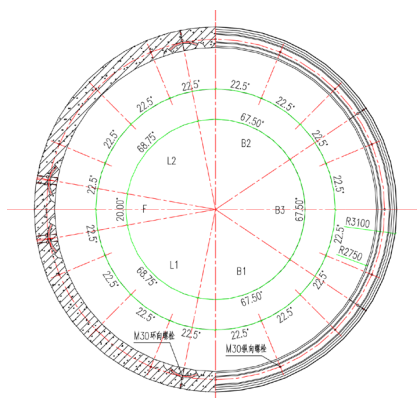


Figure 1. Cross section of cable tunnel

图 1. 电缆隧道横断面图

3. 工程地质

本工程场地内盾构穿越的主要地层及主要力学指标见表 1:

Table 1. Physical and mechanical properties of soil layers

表 1. 各土层物理力学性质指标

编号	名称	重力密度(kN/m ³)	内摩擦角(度)	粘聚力(kPa)	压缩模量(MPa)
③ ₁	淤泥	16.5	7.0	14.3	3.6
④	粉质黏土	19.6	17.3	23.5	9.4
⑤ ₁	淤泥质黏土	17.7	9.4	15.7	5.4
⑮ ₁	全风化凝灰熔岩	20.5			11.5
⑮ ₂	散体状强风化凝灰熔岩	21.5			14

4. 电缆隧道施工沉降变形分析

根据以往工程经验, 电缆隧道施工过程中侧穿建筑物比正下方穿越更为危险, 容易造成建筑物的倾斜和不均匀沉降, 本工程电缆隧道线路有一处同时侧穿已有桥梁及地面房屋, 需要重点关注。

已有桥梁采用钻孔灌注桩, 桩长 23.5 m, 桩底在隧道底以约 15 m。已有房屋为浅基础, 基础埋深约 2 m。新建电缆隧道侧穿本节点时距离桥涵桩基最近处水平距离不足 2 m, 距离浅基础水平距离约 2 m。

4.1. 计算模型

采用有限元建模对电缆隧道施工过程进行开挖模拟, 以计算分析施工对桥涵及房屋造成的沉降变形影响。

盾构电缆隧道外径为 6.2 m, 管片厚度为 0.35 m, 环宽 1.2 m, 与桥涵桩基最小平面净距 2 m, 与电信办公房最小平面净距 2.03 m。盾构电缆隧道埋深约 12 m, 掌子面水土静压力经计算约为 160 kpa, 正面顶推力设置为 140 kpa。管片侧摩阻力取 10 kpa/m 计算。盾构机长度为 8.32 m, 盾构机自重荷载为 340 t, 随盾构施工前进。施工过程中土层损失率一般按 2% 控制。

有限元模型宽度方向取 200 m, 长度取 100 m, 厚度取至基岩面。网格划分后整体有限元模型如图 2 所示。模型中桥涵、电缆隧道、浅基础房屋之间的相互位置关系如图 3、图 4 所示。

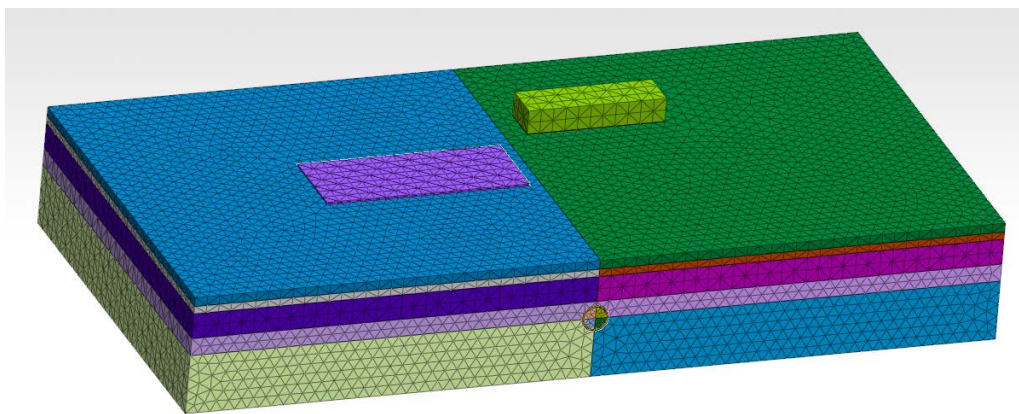


Figure 2. Finite element model

图 2. 整体有限元模型

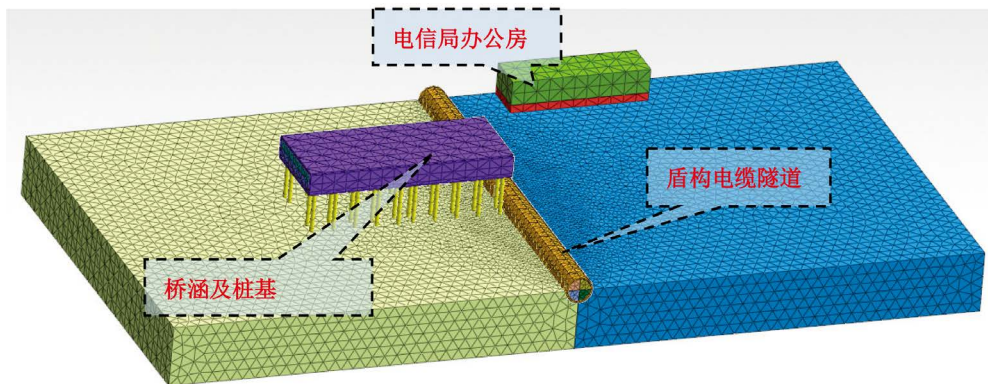


Figure 3. Axonometric model of shield cable tunnel, bridge and building
图 3. 盾构电缆隧道与桥涵及电信办公房模型轴测图

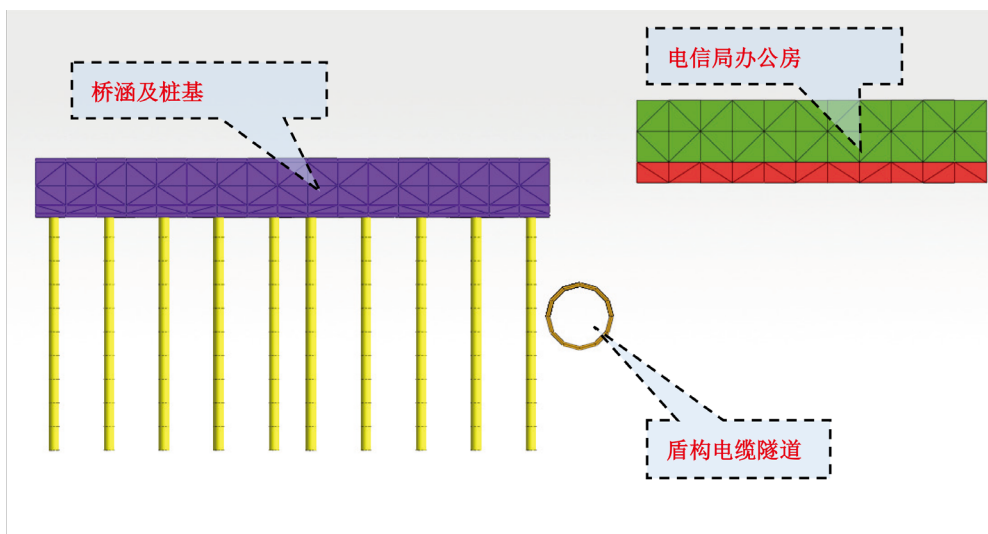


Figure 4. Spatial location relationship between cable tunnel, bridge and building
图 4. 盾构电缆隧道与桥涵及电信办公房空间位置关系

4.2. 计算工况

模型中共分 86 个施工步进行计算。

具体步骤为：位移清零 1→位移清零 2→盾构施工 1 (S1)→盾构施工 2 (S2)→盾构施工 3 (S3)→……→盾构施工 83 (S83)→盾构施工 84 (S84)。

其中位移清零 1 为全土层的地应力平衡步，位移清零 2 为激活桥涵和房屋后的地应力平衡步。从盾构施工 1 (S1)开始，每一个施工步都是开挖一环土体，同时激活当前步的管片结构，直至模型内管片全部激活完毕。对每一个施工步的位移变形及结构受力进行计算。

4.3. 结果分析

本节只列出变形较大方向的位移云图。

桥涵基础在电缆隧道盾构施工结束后的 Z 方向位移云图如图 5 所示。

电缆隧道盾构施工结束后，桥涵的最大纵向水平位移为 0.571 mm，最大横向水平位移为 0.193 mm，最大竖向位移为 1.74 mm。可见，在下方进行电缆隧道开挖施工时，由于土层存在开挖变形并且存在一

定程度的土层损失，上部土层逐渐向隧道方向发生位移，从而带动桥涵产生了向下的沉降变形和靠近电缆隧道的水平变形。

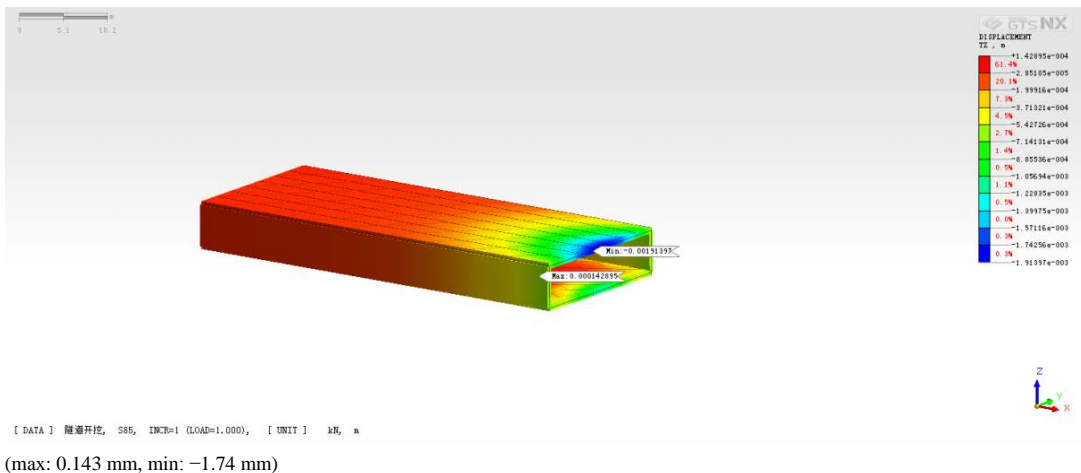


Figure 5. Vertical (Z) displacement cloud diagram of cable tunnel side crossing bridge
图 5. 盾构电缆隧道侧穿桥涵的竖直方向(Z 方向)位移云图

桥涵桩基在电缆隧道盾构施工结束后 X 方向的位移云图如图 6 所示。

电缆隧道盾构施工结束后，桩基的最大横向水平位移为 1.89 mm，最大值出现在桩身靠近隧道下方；最大纵向水平位移为 0.916 mm，最大值出现在桩身靠近隧道上方；最大竖向位移为 0.322 mm。桥桩主要出现向隧道开挖区域的水平和竖向变形。相比于桥涵而言，桩基的水平位移较竖向位移更大，这是由于桩端位于隧道下方，而隧道开挖主要在桩基中部标高位置，对桩端影响较小；而在中部位置的土层向隧道方向位移，带动桩基产生水平变形。

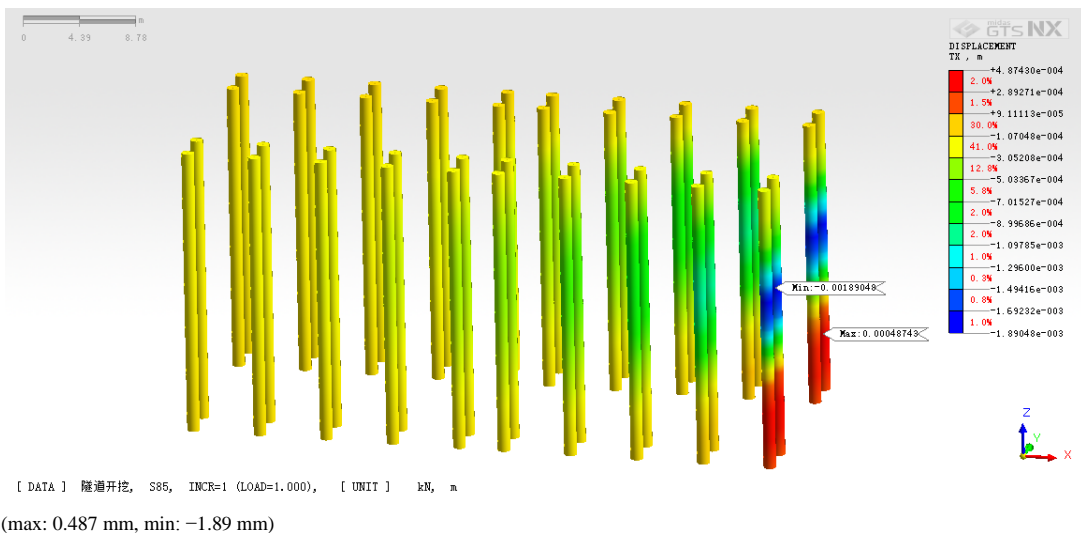


Figure 6. Horizontal (X) displacement cloud diagram of pile foundation after cable tunnel passing through bridge
图 6. 盾构电缆隧道侧穿桥涵后桩基的水平方向(X 方向)位移云图

桥涵基础在电缆隧道盾构施工的各阶段，其最大位移变化曲线图如图 7 所示。随着盾构施工不断推进，桥涵基础的水平变形不断增大，当盾构推进经过基础所在区域后，水平变形又逐渐减小；随着盾构

施工不断推进, 桥涵基础的竖向沉降变形持续增大, 当盾构推进经过桥涵所在区域后, 竖向沉降变形又缓慢减小, 之后基本保持不变。在整个施工过程中, 桥涵基础的最大横向水平位移为 0.225 mm, 最大纵向水平位移为 0.476 mm, 最大竖向位移为 1.147 mm。可见由于桥涵桩基较深, 桥涵本体的抗变形能力较强。

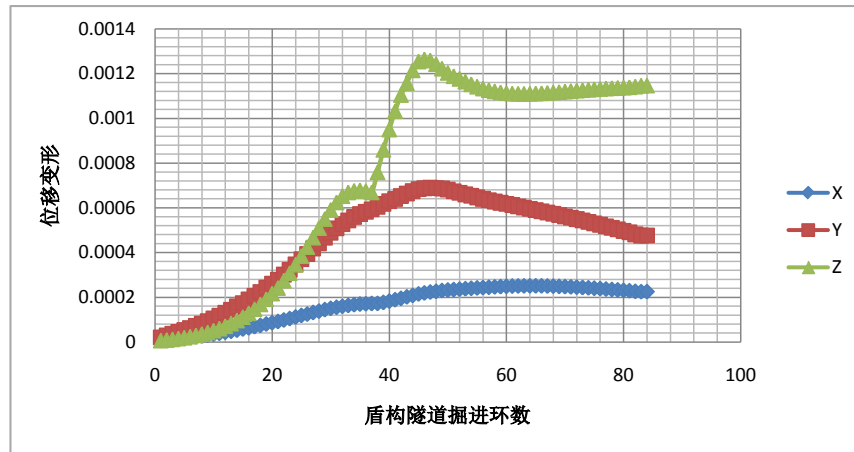


Figure 7. Curve of maximum deformation value of bridge in each direction during shield tunneling of cable tunnel

图 7. 桥涵在电缆隧道盾构掘进过程中各方向最大变形值曲线图

桥涵桩基在电缆隧道盾构施工的各阶段, 其最大位移变化曲线图如图 8 所示。随着盾构施工不断推进, 桩基的水平变形不断增大, 当盾构推进经过桩基所在区域后, 水平变形又缓慢减小, 最终趋于平稳; 随着盾构施工不断推进, 桩基的竖向沉降变形持续增大, 盾构推进经过桩基所在区域后, 竖向沉降变形又缓慢减小, 之后基本保持不变。在整个施工过程中, 桩基的最大横向水平位移为 1.89 mm, 最大纵向水平位移为 0.916 mm, 最大竖向位移为 0.322 mm。

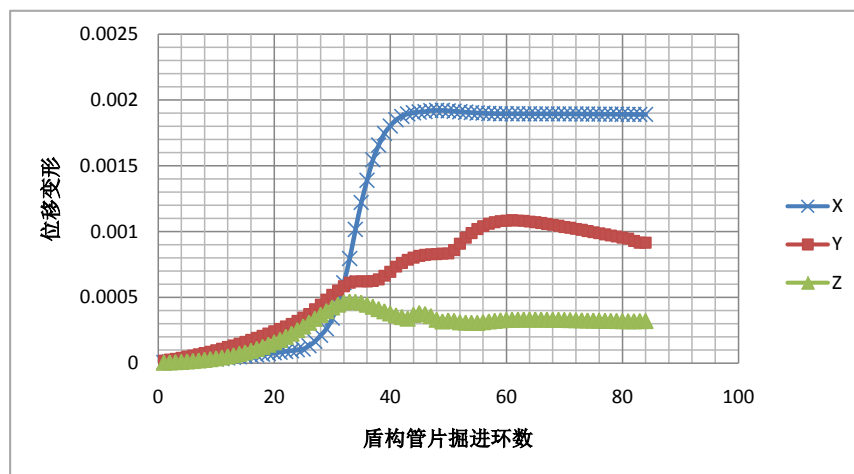


Figure 8. Curve of maximum deformation value of bridge pile foundation in each direction during shield tunneling of cable tunnel

图 8. 桥涵桩基在电缆隧道盾构掘进过程中各方向最大变形值曲线

电信办公房基础在电缆隧道盾构施工结束后 Z 方向的位移云图如图 9 所示。

电缆隧道盾构施工结束后, 电信办公房基础的最大横向水平位移为 1.18 mm, 最大纵向水平位移为

0.178 mm，最大竖向位移为 3.387 mm。可见浅基础的抵御变形能力明显弱于桩基础，电信办公房基础主要出现向下的沉降变形和靠近电缆隧道的水平变形。下方隧道开挖时会引起地表土层向隧道中心发生类似碗状的沉降变形，受土体变形影响，浅基础构筑物在靠近隧道一侧的竖向变形较大，同时还有一定程度的水平位移。

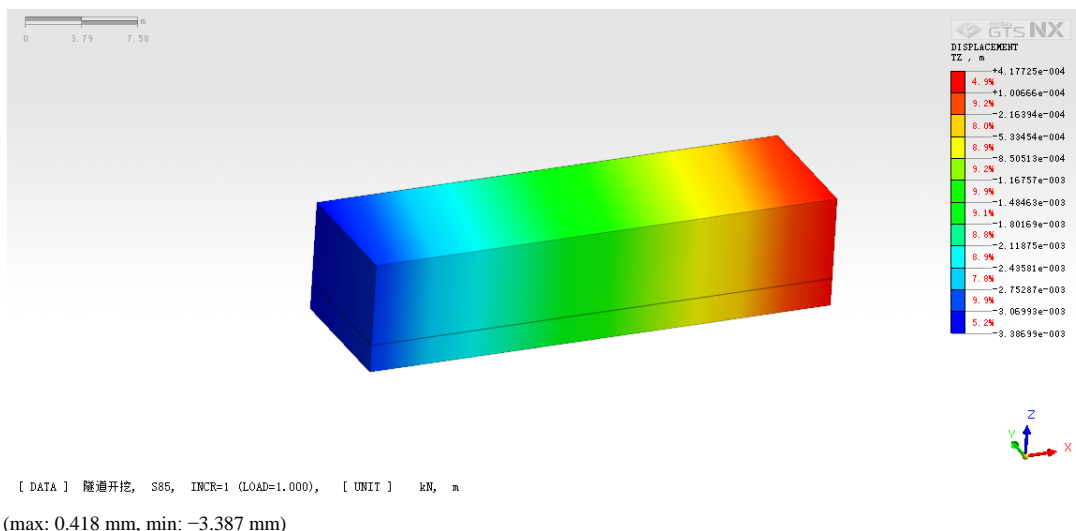


Figure 9. Cloud diagram of vertical direction (Z) displacement of shield cable tunnel passing through the building
图 9. 盾构电缆隧道侧穿房屋的竖向方向(Z 方向)位移云图

电信局办公房最外侧基础边线在电缆隧道盾构施工的各阶段，其最大位移变化曲线图如图 10 所示。随着盾构施工不断推进，基础的水平位移不断增大，当盾构推进经过房屋所在区域后，水平位移又逐渐减小；随着盾构施工不断推进，基础的竖向沉降不断增大，盾构推进经过基础所在区域后，竖向沉降变形基本趋于平稳。

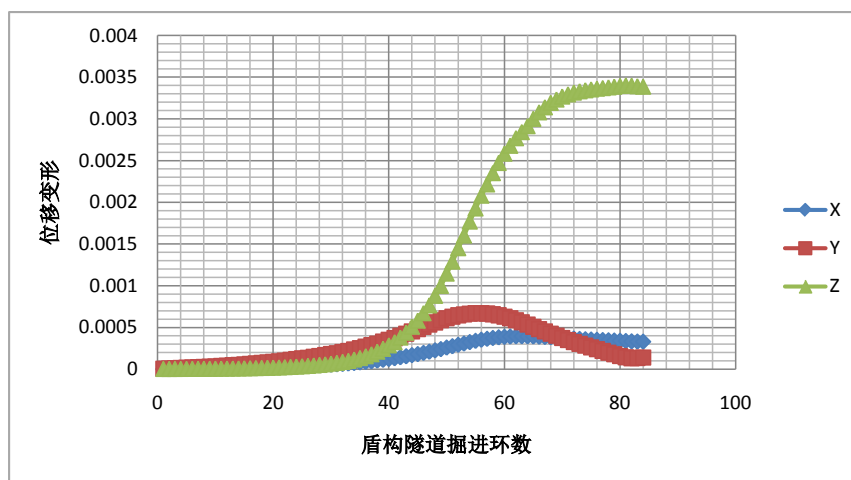


Figure 10. Curve of maximum deformation value of building in each direction during shield tunneling of cable tunnel
图 10. 电信办公房基础在电缆隧道盾构掘进过程中各方向最大变形值曲线

图 11 给出了盾构电缆隧道纵向位移曲线。计算模型模拟了 100 m 长的电缆隧道，则管片结构纵向最

大差异变形为 $(7.42 - 5.40)/36 = 0.56 \text{ mm}/10 \text{ m}$ ，满足结构安全控制指标要求。由隧道沉降变形曲线可看出，隧道本体也会收到周围已有建构筑物的影响，对本模型而言，在桥涵桩基位置，由于桥涵加桩基的结构形式刚度较大，因此抵御了一部分土层变形，使得此区域内的隧道变形也相对较小。

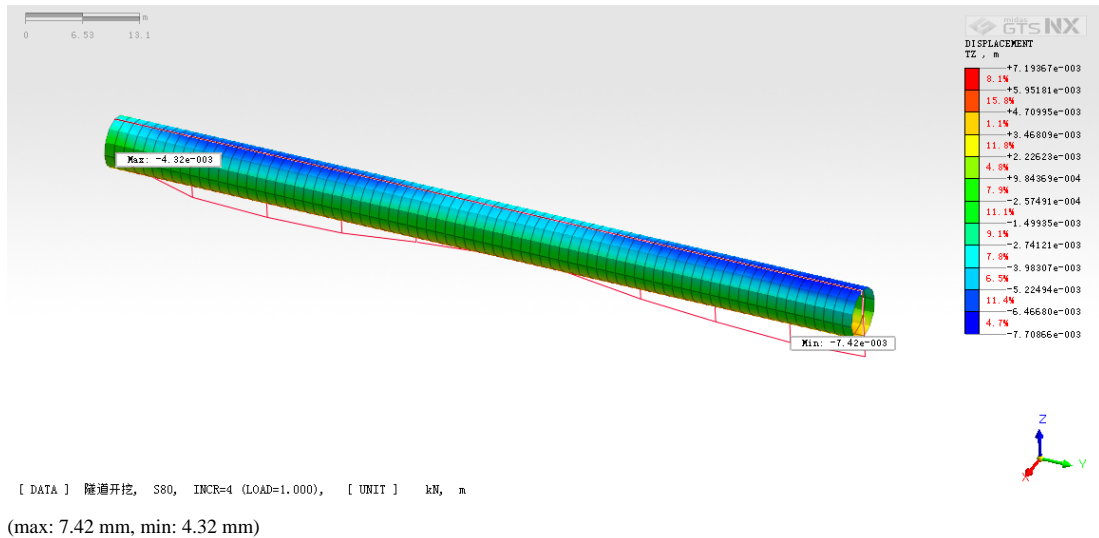


Figure 11. Cloud diagram of longitudinal displacement of shield cable tunnel

图 11. 盾构电缆隧道纵向位移云图

5. 侧穿建构筑物的加固措施

根据上述分析可知，电缆隧道侧穿已有建构筑物时，已有结构主要发生向下的沉降变形和靠近隧道的水平位移。为确保工程安全，减小建构筑物朝向隧道方向的变形，对桥涵桩基采用垂直袖阀管注浆加固，对浅基础房屋采用斜向袖阀管注浆加固以加固浅基础下方区域，如图 12 所示。同时在穿越区段内采用工后隧道内径向注浆，并且增加同步注浆及二次注浆量。

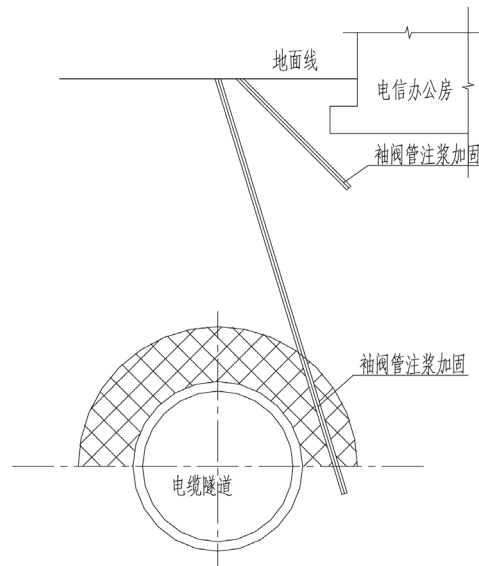


Figure 12. Schematic diagram of building reinforcement

图 12. 房屋加固示意图

6. 结语

电力隧道施工过程中需要重点关注沿线已有建构筑物产生的沉降变形问题, 本文对隧道侧穿桥涵及房屋等关键节点处各结构在施工过程中的位移变形进行了计算分析。

结果表明:

下方隧道的开挖将引起上部土层逐渐向隧道方向发生位移变形, 并带动上部已有建构筑物发生相应方向的变形, 当隧道穿越之后变形基本趋于稳定; 隧道开挖影响区域主要在开挖深度以上, 对于较深的桩基而言, 开挖对其造成的竖向变形影响不大, 主要是水平方向的变形影响; 同时隧道本体结构的变形也会受到已有建构筑物刚度的影响, 在刚度较大区域, 隧道本体产生的变形较小。

本工程电缆隧道盾构施工结束后, 桥涵本体产生最大竖向位移为 1.74 mm; 桥涵桩基的最大横向水平位移为 1.89 mm; 电信办公房基础的最大横向水平位移为 1.18 mm, 最大竖向位移为 3.387 mm; 电缆隧道管片结构纵向最大差异变形为 $(7.42 - 5.40)/36 = 0.56 \text{ mm}/10 \text{ m}$ 。

盾构隧道及已有建构筑物的变形均满足结构安全控制指标要求。

参考文献

- [1] 刘建航, 候学渊. 盾构法隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.
- [2] 日本土木学会. 隧道标准规范(盾构篇)及解说[M]. 朱伟, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 李春良, 王方彦, 张立辉, 王静. 复杂条件下的地铁盾构隧道的力学行为研究[J]. 铁道学报, 2016, 38(5): 103-109.
- [4] 朱合华, 陶履彬. 盾构隧道衬砌结构受力分析的梁-弹簧系统模型[J]. 岩土力学, 1998, 19(2): 26-31.
- [5] 杨小兵. 盾构隧道穿越既有建筑物影响分析[J]. 工程建设与设计, 2021(2): 66-67, 81.
- [6] 樊应芳. 复杂工况下盾构穿越的关键施工技术[J]. 工程技术交流, 2021(2): 81-84.
- [7] 张松涛, 胡仲春, 王公忠, 王永辉, 等. 大直径盾构隧道穿越繁华区施工风险评价[J]. 工业安全与环保, 2020, 46(5): 36-39.
- [8] 张明, 潘梦阳. 盾构近距离穿越桥梁施工对地表及桥梁桩基的影响[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(27): 311-320.
- [9] 苏宝. 盾构施工参数对地铁穿越公路桥梁桩基的影响[J]. 公路工程, 2021, 46(1): 149-153.
- [10] 于德海, 舒娇娇, 秦凯凯. 盾构地铁隧道穿越既有铁路桥的沉降分析[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(2): 148-152.
- [11] 宋玉芹, 林永亮. 大直径盾构隧道近距离穿越桩基的方案比选[J]. 中外公路, 2020, 40(6): 231-236.
- [12] 刘国栋, 袁冯丹, 许超. 软土地层盾构穿越密集房屋群水平定向注浆加固技术[J]. 隧道建设, 2018, 38(7): 1228-1235.